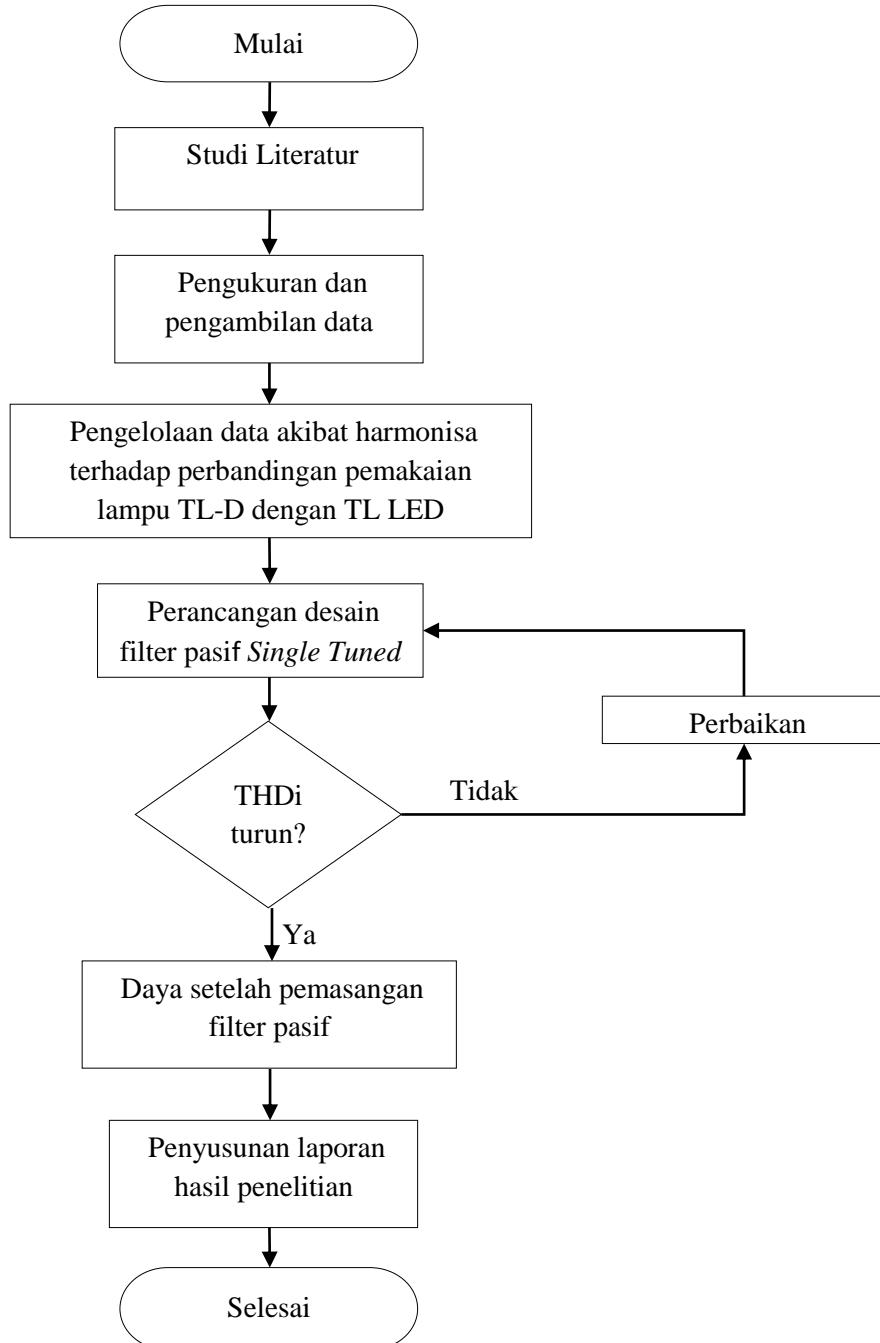


BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Prosedur Penelitian

Prosedur dari penelitian harmonisa ini terdiri dari beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan, untuk lebih mudah dimengerti dapat melihat diagram alir, sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dari gambar 3.1 merupakan diagram alir dapat dijelaskan lebih jelas tahapan-tahapan penelitian, sebagai berikut:

1. Studi literatur dilakukan untuk mencari teori-teori yang sesuai dengan objek penelitian yang dilakukan dan digunakan sebagai acuan untuk merancang filter, literatur yang digunakan didapat dari berbagai jurnal internasional maupun nasional dan berbagai buku yang secara khusus membahas mengenai kualitas daya dan harmonisa.
2. Pengambilan data, pengambilan data yang dimaksud dalam penelitian ini adalah berupa pengukuran listrik seperti tegangan (V), arus (I), daya nyata (P), daya semu (S), daya reaktif (Q), faktor daya ($\cos\phi$) dan harmonisa baik harmonisa arus maupun harmonisa tegangan yang dihasilkan oleh instalasi lampu LED.
3. Pengolahan data, pengolahan data harmonisa terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut, pertama melakukan analisis data hasil pengukuran yaitu harmonisa dibuat spektrum harmonisanya dan menganalisis dari segi rugi daya yang dihasilkan akibat harmonisa, kemudian membandingkan penggunaan TL-D dengan TL LED dalam segi biaya, setelah itu dilakukan pembandingan data standar yang digunakan, apakah nilai harmonisa pada sistem tersebut masih memenuhi standar atau tidak, jika tidak memenuhi standar maka harmonisa harus direduksi yaitu dengan pemasangan filter pasif *single tuned*. Selanjutnya penentuan orde harmonisa yang akan direduksi, untuk perancangan filter perlu ditentukan orde harmonisa yang akan direduksi, orde harmonisa yang akan direduksi ini merupakan orde harmonisa yang memiliki nilai harmonisa paling besar diantara orde lainnya dan khusus pada filter jenis *single tuned* ini hanya mereduksi satu orde harmonisa saja.
4. Setelah ditentukan orde harmonisa yang perlu direduksi, selanjutnya dilakukan perancangan desain filter, perancangan desain filter ini bertujuan untuk menentukan nilai-nilai komponen yang digunakan untuk filter pasif. Komponen tersebut berupa kapasitor (C) dan induktor (L). Setelah didapat nilai komponen filter, selanjutnya dilakukan simulasi untuk melihat apakah

filter dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang diharapkan. Kemudian dilihat perubahan nilai harmonisa pada sistem setelah pemasangan filter dan sebelum pemasangan filter, setelah harmonisa sistem sudah turun penelitian telah selesai dan apabila harmonisa masih melewati standar maka akan dilakukan analisis apa yang menyebabkan hal ini terjadi untuk mendapatkan solusi konkret dari permasalahan tersebut.

5. Setelah simulasi pemasangan filter pasif maka dilakukan perhitungan terhadap daya setelah pemasangan filter pasif pada simulasi.
6. Setelah selesai selanjutnya dilakukan penulisan laporan sesuai dengan Pedoman Penulisan Karya Ilmiah UPI Tahun 2016.

3.2. Objek Penelitian

Pada skripsi ini dibahas mengenai masalah harmonisa pada sistem tenaga listrik khususnya pada instalasi lampu, yang pada kasus ini harmonisa yang terjadi diakibatkan oleh banyaknya penggunaan beban non linier yaitu lampu LED. Jumlah dan jenis beban non linier yang digunakan sebagai sumber harmonisa pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1, gambar 3.2 dan 3.3 sebagai berikut:

**Tabel 3.1
Jumlah Lampu LED pada Gedung FPEB**

Lantai	XL LED 14w	TL LED20w
1	29	49
2	19	64
3	19	64
4	19	64
5	19	64
6	41	16
Jumlah	146	321



Gambar 3.2 Lampu Bohlam Philips LED 14w

Karakteristik bohlam

- Bentuk: Standar (A67)
- Tutup/fitting: E27
- Voltase: 220-240 volt
- Dapat diredukan: NO

Karakteristik cahaya

- Output cahaya: 1.400 lumen
- Suhu warna: 6500 K
- Efek cahaya/finish: Cool Daylight
- Indeks Sesuaian Warna (CRI): 80

Konsumsi daya

- Watt: 14,5 W
- Daya yang setara: 100 W

Daya tahan

- Masa pakai lampu: 15000 jam

Karakteristik lain

- Faktor daya: 0,7



Gambar 3.3 Lampu ESSENTIAL LEDtube 1200mm 20W865 T8 AP I

Operating and Electrical

- Input Frequency 50 to 60 Hz
- Power (Rated) (Nom) 18 W
- Lamp Current (Nom) 82 mA
- Starting Time (Nom) 0.5 s
- Warm Up Time To 60% Light
(Nom) instant full light
- Power Factor (Nom) 0.9
- Voltage (Nom) 220-240 V

Light Technical

- Luminous Flux (Nom) 1600 lm

Mechanical and Housing

- Product Length 1200 mm

3.3. Peralatan Pengukuran

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran pada penelitian ini yaitu HIOKI 3197 *POWER QUALITY ANALYSER* alat ini mampu mengukur nilai harmonisa tegangan dan arus lebih dari 20 orde, dan Clamp on Power Hitester HIOKI 3286 – 20 ini mampu untuk mengukur nilai harmonisa baik harmonisa tegangan ataupun arus sampai orde 20, alat ini mampu mengukur berbagai macan komponen listrik seperti tegangan (V), arus (I), frekuensi (F), daya nyata (P), daya semu (S), daya reaktif (Q) dan faktor daya (PF), alat pengukuran bisa dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 (a) *HIOKI 3197 Power Quality Analyser* dan (b) *Clamp On Sensor 9660*

Gambar 3.4 merupakan alat yang digunakan untuk pengukuran pada SDP, alat ini mempunyai tujuh inputan terminal, empat inputan untuk mengukur nilai tegangan dan tiga input untuk mengukur nilai arus sehingga dapat mengukur sistem satu fasa dua kawat maupun tiga fasa empat kawat sekaligus untuk mendapatkan karakteristik beban pada sistem tenaga listrik. Selain itu penjepit yang digunakan pada *HIOKI 3197 Power Quality Analyser* yaitu *Clamp On Sensor 9660* yang dapat mengukur arus sampai 100 A. *HIOKI 3197 Power Quality Analyser* digunakan pada SDP setiap lantai untuk mengukur karakteristik harmonisa instalasi lampu LED pada Gedung FPEB Baru.

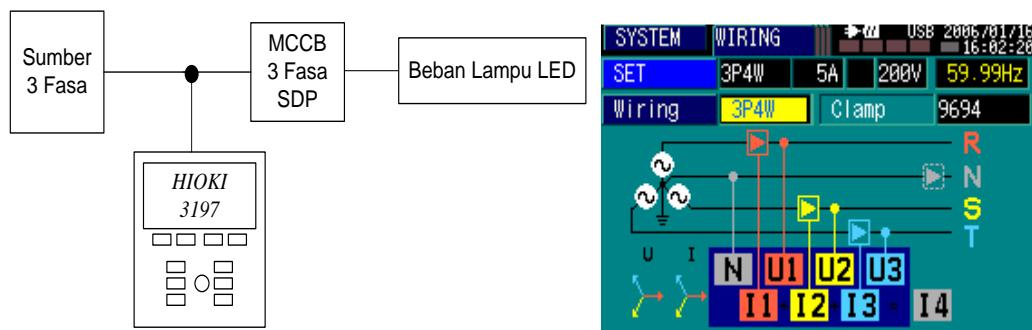


Gambar 3.5 HIOKI 3286 – 20

Pada gambar 3.5 merupakan alat yang digunakan untuk pengukuran MDP pada Gedung FPEB Baru. Berbeda dengan alat ukur yang sebelumnya alat ini mempunyai tiga input terminal dapat mengukur sistem satu fasa dua kawat dan sistem tiga fasa tiga kawat, untuk mendapatkan karakteristik beban pada sistem tenaga listrik menggunakan HIOKI 3286 – 20 ini sama seperti menggunakan *voltmeter* dan *ampere meter*, untuk input tegangan dipasang pararel dengan beban dan untuk input arus menggunakan teknik *clamping*, sehingga pengukuran dilakukan secara seri tanpa melepas rangkaian. HIOKI 3286 – 20 digunakan untuk mengukur karakteristik harmonisa pada MDP (*Main Distribution Panel*) Gedung FPEB Baru.

3.4. Prosedur Pengukuran Harmonisa

Rangkaian pengujian harmonisa pada instalasi lampu LED di setiap lantai Gedung FPEB Baru dapat dilihat pada gambar 3.6.



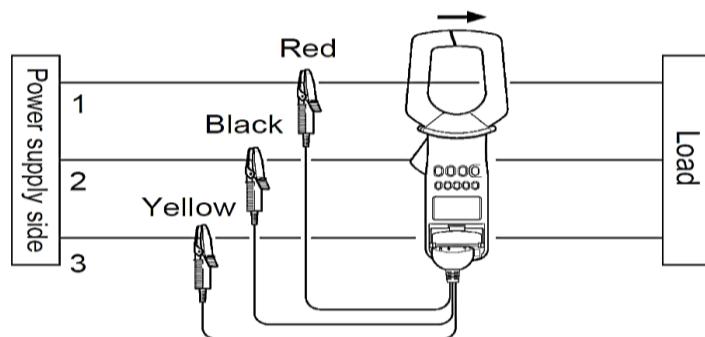
Gambar 3.6 Rangkaian Pengukuran Harmonisa pada Instalasi Lampu LED



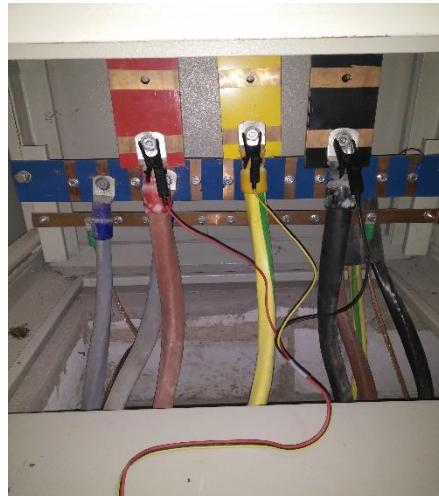
Gambar 3.7 Proses Pengukuran Harmonisa pada SDP

Pada gambar 3.7 pengukuran harmonisa ini diambil pada saat semua lampu LED dinyalakan, pengukuran harmonisa pada Lampu LED di Gedung FPEB. Pengukuran harmonisa pada SDP setiap lantai menggunakan HIOKI 3197 *POWER QUALITY ANALYSER*. Data yang diukur adalah tegangan (V), arus (A), daya aktif (Watt), daya reaktif (VAR), daya semu (VA), faktor daya (PF), THDv tegangan (%), dan THDi arus (%) .

Rangkaian pengukuran harmonisa pada MDP menggunakan *Clamp on Power Hitemeter* HIOKI 3286 – 20 dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian Pengukuran Harmonisa pada MDP



Gambar 3.9 Proses Pengukuran Harmonisa pada MDP

Pada gambar 3.9 merupakan pengukuran MDP menggunakan *Clamp on Power Hitemeter* HIOKI 3286 – 20. Data yang diukur adalah tegangan (V), arus (A), daya aktif (Watt), daya reaktif (VAR), daya semu (VA), faktor daya (PF), THD_V tegangan (%), dan THD_I arus (%). Semua data hasil pengukuran dicatat sesuai dengan tabel 3.2, 3.3, dan 3.4.

Tabel 3.2
Pengukuran Lampu LED

Pengukuran Tegangan, Arus, Daya, Faktor Daya, dan Frekuensi			
Hari/Tanggal			
Waktu Tes			
Besaran	R (Merah)	S (Kuning)	T (Hitam)
V_{LN} (V)			
I_{LN} (A)			
S (kVA)			
P (kW)			
cos pi			
f (Hz)			

Tabel 3.3
Pengukuran Harmonisa Arus Lampu LED

Orde	I	IR	THDi (%)	IS	I	THDi (%)	IT	I	THDi (%)
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Tabel 3.4
Pengukuran Harmonisa Tegangan Lampu LED

Orde	THDv% R	THDv% S	THDv% T
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

17
18
19
20

3.5. Perancangan Desain Filter Pasif Tipe Single Tuned Filter

Hasil dari pengukuran pada MDP di Gedung FPEB Baru dapat dilihat dari tabel berikut.

**Tabel 3.5
Pengukuran Pada MDP Gedung FPEB Baru**

Pengukuran Tegangan, Arus, Daya, Faktor Daya, dan Frekuensi			
Hari/Tanggal	Selasa, 24 Januari 2017		
Waktu Tes	11.20		
Besaran	R (Merah)	S (Kuning)	T (Hitam)
V _{LN} (V)	406	406	407
I _{LN} (A)	38,6	26,5	37,8
S (kVA)	27,2	18,7	15,4
P (kW)	16,8	8,4	12,1
cos pi	0,617	lag	0,789 Lead
f (Hz)	50	50	50

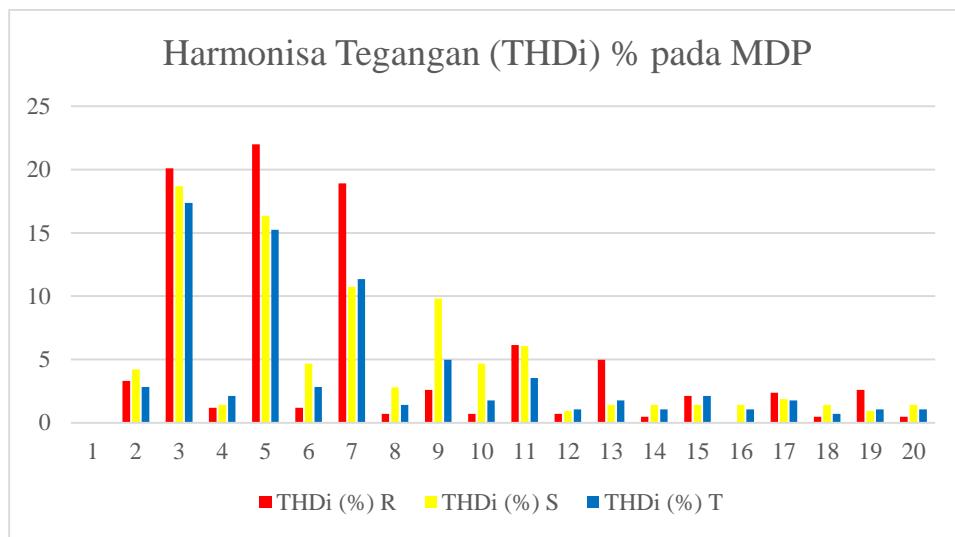
Tabel 3.5 merupakan data hasil pengukuran pada MDP Gedung FPEB Baru. Data pengukuran tersebut merupakan nilai yang tercatat pada alat ukur menggunakan Clamp on Power Hitemeter HIOKI 3286 – 20.

**Tabel 3.6
Pengukuran Harmonisa Arus**

Orde	I	IR	THDi (%)	IS	I	THDi (%)	IT	I	THDi (%)
1	42,3	42,3	100,0	21,4	21,4	100,0	28,2	28,2	100,0
2		1,4	3,3		0,9	4,2		0,8	2,8
3		8,5	20,1		4	18,7		4,9	17,4
4		0,5	1,2		0,3	1,4		0,6	2,1
5		9,3	22,0		3,5	16,4		4,3	15,2
6		0,5	1,2		1	4,7		0,8	2,8
7		8	18,9		2,3	10,7		3,2	11,3
8		0,3	0,7		0,6	2,8		0,4	1,4
9		1,1	2,6		2,1	9,8		1,4	5,0
10		0,3	0,7		1	4,7		0,5	1,8
11		2,6	6,1		1,3	6,1		1	3,5
12		0,3	0,7		0,2	0,9		0,3	1,1
13		2,1	5,0		0,3	1,4		0,5	1,8
14		0,2	0,5		0,3	1,4		0,3	1,1

15	0,9	2,1	0,3	1,4	0,6	2,1
16	0	0,0	0,3	1,4	0,3	1,1
17	1	2,4	0,4	1,9	0,5	1,8
18	0,2	0,5	0,3	1,4	0,2	0,7
19	1,1	2,6	0,2	0,9	0,3	1,1
20	0,2	0,5	0,3	1,4	0,3	1,1

Pada tabel 3.6 merupakan data hasil pengukuran harmonisa arus. Pada pengukuran tersebut terdapat orde harmonisa yang terkena gangguan yaitu pada orde 3, 5, dan 7.



Gambar 3.10 Spektrum THDi pada MDP

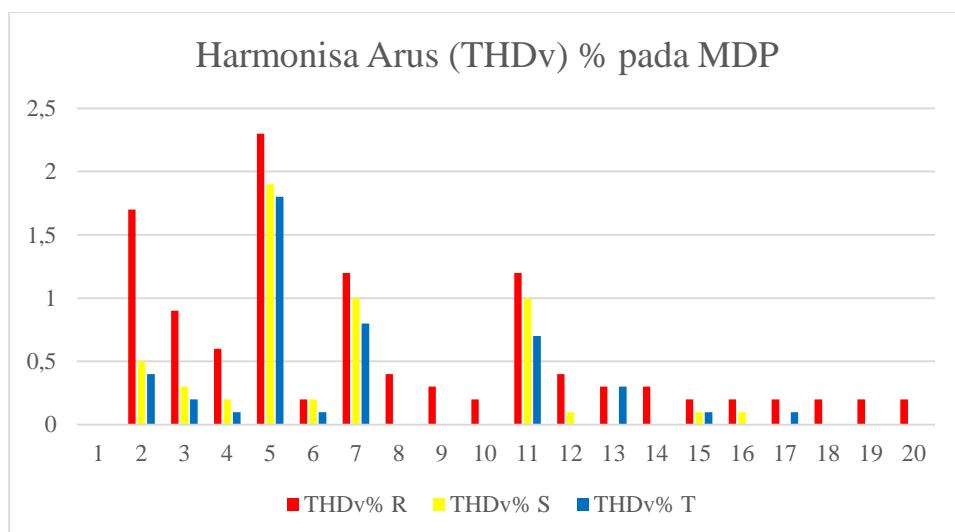
Pada gambar 3.10 tentang harmonisa arus terlihat kebanyakan gangguan harmonisa terjadi pada orde ganjil dan harmonisa terbesar terdapat pada hamonisa orde ke 5 pada frekuensi 250 Hz.

Tabel 3.7
Pengukuran Hamonisa Tegangan

Orde	THDv% R	THDv% S	THDv% T
1	100	100	100
2	1,7	0,5	0,4
3	0,9	0,3	0,2
4	0,6	0,2	0,1
5	2,3	1,9	1,8
6	0,2	0,2	0,1
7	1,2	1	0,8
8	0,4	0	0
9	0,3	0	0

10	0,2	0	0
11	1,2	1	0,7
12	0,4	0,1	0
13	0,3	0	0,3
14	0,3	0	0
15	0,2	0,1	0,1
16	0,2	0,1	0
17	0,2	0	0,1
18	0,2	0	0
19	0,2	0	0
20	0,2	0	0

Tabel 3.7 merupakan data hasil pengukuran harmonisa tegangan pada MDP Gedung FPEB Baru. Diketahui pada data harmonisa tegangan nilai harmonisa tegangan masih dalam standar IEEE 519-2014 dibawah 5%. Sehingga harmonisa tegangan pada sistem tidak perlu diperbaiki.



Gambar 3.11 Spektrum THDv pada MDP

Pada gambar 3.11 tentang harmonisa tegangan terlihat kebanyakan gangguan harmonisa terjadi pada orde ganjil dan harmonisa terbesar terdapat pada hamonisa orde ke 5 pada frekuensi 250 Hz.

Dari hasil pengukuran pada tabel 3.6 bahwa nilai harmonisa arus pada masing – masing fasa di orde 3, 5, dan 7 melebihi 10,7% dan dibawah 22%, dan pada harmonisa tegangan masih dalam standar yang diperbolehkan dibawah 5%.

Sehingga filter pasif akan didesain untuk mereduksi harmonisa arus. Filter yang dirancang akan memperbaiki faktor daya sampai 0.9.

Setelah menentukan orde harmonisa yang akan diperbaiki maka langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya kapasitansi kapasitor, pada perhitungan untuk desain filter diambil data dari fasa R, maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Filter Fasa R

$$\begin{aligned}
 Q_C &= 16800. (\tan (51,9)) - (\tan (25,84)) & 2.9 \\
 &= 16800 (1,275 - 0,48) \\
 &= 16800 (0,795) \\
 &= 13356 \text{ VAR}
 \end{aligned}$$

Hasil dari perhitungan didapat bahwa untuk memperbaiki faktor daya menjadi 0.9, dibutuhkan daya reaktif sebesar 13356 VAR, untuk filter *single tuned* yang akan dipasang yaitu filter harmonisa orde ke-3

Selanjutnya dapat dicari reaktansi kapasitor (X_C)

$$X_{C1} = \frac{V^2}{VAR} = \frac{380^2}{13356} = 10,81 \Omega \quad 2.10$$

Selanjutnya ketika mendapatkan hasil reaktansi kapasitor (X_C) dapat dicari kapasitansi dari kapasitor (C).

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2(3,14)(50)(10,81)} = 0,00029 F \quad 2.12$$

Setelah didapat kapasitansi dari kapasitor, selanjutnya dapat dicari reaktansi dari induktor (X_L), Reaktansi induktif yang dibutuhkan pada harmonisa h adalah, pada hal ini sebagai berikut:

$$XL_h = X_{Ch}$$

$$XL_3 = X_{C3}$$

$$XL_1 = \left(\frac{1}{h}\right) XL_h = \left(\frac{1}{h}\right) XL_3 = \frac{3,6}{3} = 1,2 \Omega \quad 2.13$$

$$I1 = \frac{(1,05)(VLN)}{(Xc-XL)} = \frac{(1,05)(219,39)}{(10,81-1,2)} = 23,97 A \quad 2.19$$

$$I3 = \frac{1}{h} \frac{KVAload}{\sqrt{3} (13,8)} = \frac{1}{h} \left(\frac{27,2}{\sqrt{3} (13,8)} \right) = 0,379 A$$

$$Xc3 = \left(\frac{1}{h}\right) Xc1 = \frac{10,81}{3} = 3,6 \Omega \quad 2.11$$

Tegangan puncak (Vpeak) dan tegangan rms (Vrms) pada kapasitor,

$$Vc peak = \sqrt{2} (Vc1 + Vc3) \quad 2.17$$

$$Vc peak = \sqrt{2} (Xc1 \cdot I1 + Xc3 \cdot I3)$$

$$Vc peak = \sqrt{2} ((10,81 \times 23,97) + (3,6 \times 0,379))$$

$$Vc peak = \sqrt{2} (259,16 + 1,37) = 368,44 Volt$$

$$Vc rms = \sqrt{Vc1^2 + Vc3^2} = \sqrt{259,16^2 + 1,37^2} = 259,16 Volt \quad 2.16$$

Jika 219,39 V (tegangan fasa netral untuk 380 V pada sistem).

$$\frac{Vc rms}{Vc peak rated} = \frac{259,16}{219,39} = 1,181 p.u$$

(Batas dari IEEE-18 dibawah 1,1 p.u.)

$$\frac{Vc peak}{Vc peak rated} = \frac{368,44}{\sqrt{2} (219,39)} = 1,1867 p.u$$

Pada perhitungan untuk harmonisa orde ke 3, masih belum sesuai dengan standar IEEE-18. Setelah reaktansi induktif diketahui, selanjutnya dapat dicari induktansi dari induktor (L)

$$L = \frac{XL}{2\pi f} = \frac{1,2}{2(3,14)(50)} = 0,0038 H \quad 2.14$$

Diketahuinya induktor, dan kapasitor, selanjutnya dapat dicari hambatan (R).

$$R = \frac{\sqrt{L}}{80} = \frac{\sqrt{0,0038}}{80} = 0,045 \Omega \quad 2.15$$

Setelah diketahui nilai dari masing-masing komponen untuk filter orde ke 3 maka spesifikasi filter untuk orde ke 5 dan 7 dapat dilihat pada tabel 3.8 merupakan spesifikasi model *Single Tuned Filter* yang digunakan.

Tabel 3.8
Spesifikasi Model Single Tuned Filter Hasil Perancangan

Fasa R			
Orde	3	5	7
Qc	13356	13356	13356
Xc1	10,81	10,81	10,81
Xc3	3,60	2,16	1,54
C	0,00029	0,00029	0,00029
XLh=Xch	XL3=Xc3	XL5=Xc5	XL7=Xc7
XL1	1,20	0,43	0,22
I1	23,97	22,19	21,75
I3	0,379	0,228	0,163
Xc3	3,60	2,16	1,54
Vc1	259,16	239,96	235,16
Vc3	1,37	0,49	0,25
Vpeak	368,44	340,05	332,92
Vrms	259,16	239,96	235,16
p.u limit	1,181	1,094	1,072
p.u limit IEEE-18	1,187	1,096	1,073
L	0,0038	0,0014	0,0007
R	0,045	0,027	0,019
Fasa S			
Orde	3	5	7
Qc	12684	12684	12684
Xc1	11,38	11,38	11,38
Xc3	3,79	2,28	1,63
C	0,00028	0,00028	0,00028
XL=Xch	XL3=Xc3	XL5=Xc5	XL7=Xc7
XL1	1,26	0,46	0,23
I1	22,76	21,08	20,66
I3	0,261	0,156	0,112
Xc3	3,79	2,28	1,63
Vc1	259,16	239,96	235,16
Vc3	0,99	0,36	0,18
Vpeak	367,90	339,86	332,83
Vrms	259,16	239,96	235,16
p.u limit	1,181	1,094	1,072

p.u limit IEEE-18	1,095	1,073	0,000
L	0,0040	0,0015	0,0007
R	0,047	0,028	0,020
Fasa T			
Orde	3	5	7
Qc	3605,8	3605,8	3605,8
Xc1	40,047	40,047	40,047
Xc3	13,35	8,01	5,72
C	0,00008	0,00008	0,00008
XL=Xch	XL3=Xc3	XL5=Xc5	XL7=Xc7
XL1	4,45	1,60	0,82
I1	6,47	5,99	5,87
I3	0,215	0,129	0,092
Xc3	13,35	8,01	5,72
Vc1	259,16	239,96	235,16
Vc3	2,87	1,03	0,53
Vpeak	370,56	340,82	333,31
Vrms	259,17	239,96	235,16
p.u limit	1,181	1,094	1,072
p.u limit IEEE-18	1,194	1,098	1,074
L	0,0142	0,0051	0,0026
R	0,167	0,100	0,072

Tabel 3.8 merupakan hasil dari perhitungan untuk mencari spesifikasi filter pasif. Perhitungan orde 5 dan 7 sama dengan menghitung spesifikasi filter untuk orde 3. Spesifikasi filter untuk orde 5 dan 7 dapat diketahui pada tabel 3.8.